

橋梁の地震時応答解析における衝突バネ定数の算定式

九州工業大学大学院 学生員 ○山田啓太
九州工業大学大学院 正会員 山口栄輝

1. はじめに

橋梁の地震時応答解析では、衝突が生じる箇所に衝突バネを配し、衝突現象をモデル化することが多い。しかしながら、衝突バネのバネ定数に関する研究は少なく、著者らの知る限り、直ちに参照できる実用性を有した研究は、川島によるもののみであり¹⁾、衝突バネ定数 k は次式より算出されている。

$$k=nEA/L \tag{1}$$

ここに、 n は要素数、 E はヤング係数、 A は断面積、 L は部材長である。伸び剛性が同じ 2 本の桁を、同じ要素数で等分割して解析する場合、式(1)は直ちに適用可能である。しかしながら、実際の橋梁では、一般に桁ごとに剛性は異なり、解析で用いる要素分割も等分割とは限らない。橋台と桁といった異なった構造物の衝突も起こる。そのような場合、式(1)は適用できず、採用すべき衝突バネ定数 k の値は明らかでない。これらのことに鑑み、本研究では、剛性の異なる桁-桁間衝突、橋台-桁間衝突を対象として、衝突バネ定数の算定式を提案する。また、その妥当性を検討するために、実橋をもとに構築したゲルバー桁橋の解析を行う。なお、解析には Y-FIBER3D を用いる。

2. 衝突解析モデル

解析モデルを図-1, 2 に示す。図-1 は桁と桁の衝突、図-2 は橋台と桁の衝突を検討するためのモデルである。桁は梁要素でモデル化し、桁-桁間、橋台-桁間に衝突バネを導入する。桁の非衝突端にも小さな剛性 (1 kN/m) のバネを導入している。これは桁の自由運動により解析不能とならないようにするための処置である。

桁-桁間衝突では、桁の伸び剛性 EA/L が、 $5.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^6$ kN/m に収まることが多いため、 EA/L には 5.0×10^5 , 1.0×10^6 , 5.0×10^6 kN/m の 3 つの値を採用する。さらに、衝突点に隣接する要素の長さ L^e には 5 つの値 (0.1, 0.125, 0.25, 0.5, 0.75 m) を用いることとし、15 モデルを構築する。

橋台-桁間衝突でも、桁の伸び剛性 EA/L は、桁-桁間衝突モデルと同じ 3 つの値を用いる。橋台はバネでモデル化²⁾し、その剛性 (バネ定数) k_A には、 $1.0 \times 10^5 \sim 3.0 \times 10^8$ kN/m の間で 8 つの値を用いる。これらの組合せにより、24 モデルを構築する。なお、すべてのモデルにおいて、 L^e は 0.5 m とする。

衝突バネの抵抗特性は図-3 に示すように、圧縮側で相対変位が遊間量を超えた場合のみ弾性抵抗を示すバネ特性を与えている。桁-桁間、橋台-桁間の遊間量は 0.15m とする。入力加速度は図-4 に示す波形として桁軸方向に作用させる。積分時間間隔は 1/50000 s, 減衰定数は 0.02 とする。

衝突バネによる衝突現象のモデル化はあくまで近似であり、衝突時に 2 物体間のオーバーラップ、真の衝突時

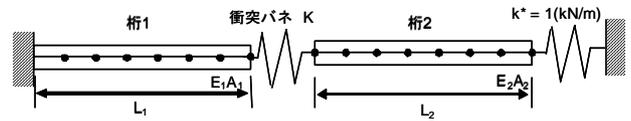


図-1 解析モデル (桁-桁衝突)

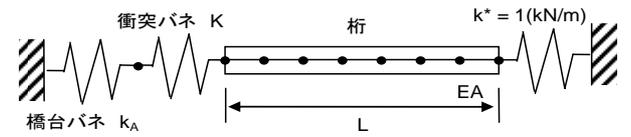


図-2 解析モデル (橋台-桁衝突)

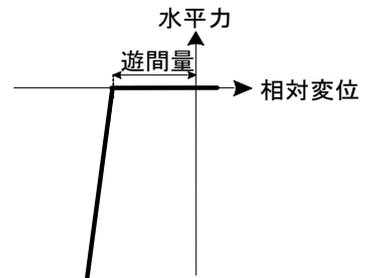


図-3 衝突バネの抵抗特性

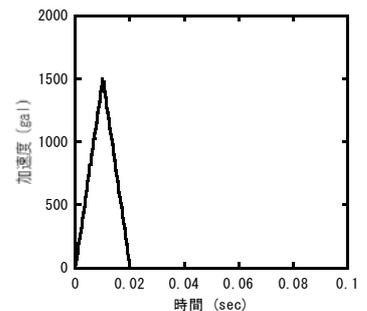


図-4 入力加速度

キーワード 橋梁, 地震時応答解析, 衝突バネ定数, 伸び剛性

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 TEL093-884-3110 FAX093-884-3100

間内に接触と離反が生じる。そうした現象が顕著にならない範囲の衝突バネ定数が適切とされる¹⁾。

3. 解析結果と衝突バネ定数算定式

3.1 桁-桁間衝突

すべてのモデルにおいて、衝突バネ定数が小さくなると、桁のオーバーラップは大きくなり、衝突バネ定数が大きくなると、真の衝突時間内に生じる接触と離反の回数（衝突回数）が増加する傾向が認められた。

許容できる相対変位と真の衝突時間内の衝突回数の参照値を得るために、式(1)が適用可能な解析を別途行った。その結果に基づき、相対変位は 0.157 m、真の衝突時間内の衝突回数は 3 回を許容値とする。

以上のことより、試行錯誤的に検討を行い、桁-桁間の適切な衝突バネ定数 k の算定式として、次式を提案する。

$$\log_{10} k = 8.0 - 0.07 \times \log_{10} \left(\frac{k_1 + k_2}{k_1 k_2} \right) \tag{2}$$

ここに、 k_1 , k_2 は各桁内の衝突点を有する要素の伸び剛性である。

3.2 橋台-桁間衝突

桁-桁間衝突と同様にして、適切な衝突バネ定数の範囲を求めた結果、橋台-桁間の適切な衝突バネ定数 k の算定式として、次式を提案する。

$$\log_{10} k = 4.8 - 0.6 \times \log_{10} \left(\frac{k_A + k_G}{k_A k_G} \right) \tag{3}$$

ここに、 k_G は桁内の衝突点を有する要素の伸び剛性である。

4. ゲルバー桁橋

4.1 解析モデル

解析対象のゲルバー桁橋の概略を図-5 に示す。この橋は、コンクリート床版を有する鋼 4 主 I 桁橋であり、図中、Ⓜが可動支承、ⓐが固定支承、ⓑが可動ヒンジ部、ⓒが固定ヒンジ部である。橋梁の両側には橋台を想定している。衝突可能点は桁端部と可動ヒンジ部であり、そのすべてに衝突バネを配置する。衝突バネ定数は、式(2), (3)から算定した値を用いる。なお、図-4 の入力加速度では衝突しない箇所があったため、ここでは入力加速度を図-6 に替えて橋軸方向に作用させる。積分時間間隔は 1/50000 s とする。

4.2 解析結果

解析結果として、各衝突点での最大相対変位、真の衝突時間内の衝突回数を表-1 にまとめている。表中、A1, A2 は A1 橋台側橋梁端部, A2 橋台側橋梁端部, H1~H3 は 3 箇所の可動ヒンジ部を表し、H1~H3 の番号は A1 橋台に近い側から順に付けている。いずれの衝突点においても、許容値を下回っており、式(2), (3)から算定される衝突バネ定数は、妥当な値と判断される。

参考文献

- 1) 川島一彦：動的解析における衝突のモデル化に関する一考察，土木学会論文報告集，第 308 号，pp123-126，1981.
- 2) 小林寛，運上茂樹，西岡勉：両端部に橋台を有する既設橋梁の橋全体系に着目した耐震補強法の検討，第 7 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.267-270，2003.

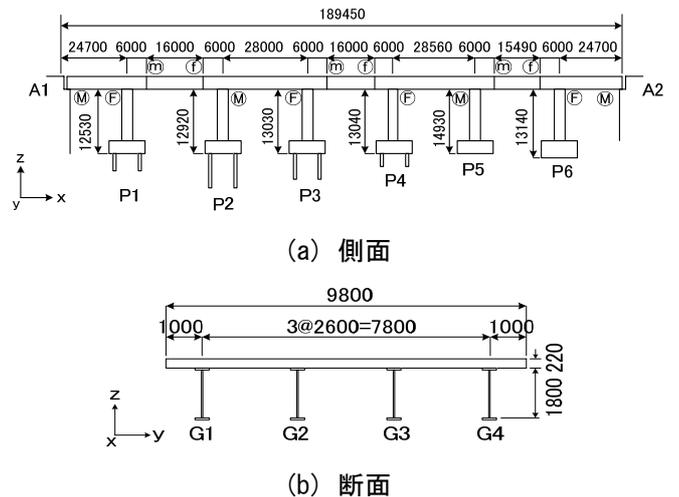


図-5 橋梁モデル（ゲルバー桁橋；単位：mm）

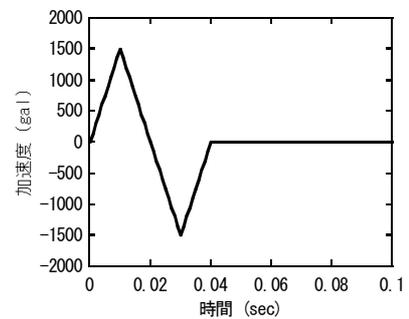


図-6 入力加速度（修正版）

表-1 ゲルバー桁橋解析結果

	最大相対変位 (m)	衝突回数 (回)
A1	0.156	2
A2	0.151	2
H1	0.051	2
H2	0.050	3
H3	0.051	2